

Aspectos hidrogeológicos de los humedales Ramsar de alta montaña en España

Hydrogeological aspects of the upper mountain Ramsar wetlands in Spain

África de la Hera¹, Fermín Villarroja², Juan J. Durán¹, Juan M. Fornés¹,
Alfredo García de Domingo¹ y Raquel Morales¹

1. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas 23. 28003 Madrid.

a.delahera@igme.es; jj.duran@igme.es; jm.fornes@igme.es; a.garcia@igme.es; r.morales@igme.es

2. Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Jose Antonio Novais 2, 28040 Madrid.
ferminv@geo.ucm.es

Recibido: 23-septiembre-2013. Aceptado: 5-febrero-2014. Publicado en formato electrónico: 13-febrero-2014

PALABRAS CLAVE: Aguas subterráneas, Estany de Sant Maurici, Laguna de Urbión, Laguna Grande de Peñalara, Ramsar

KEY WORDS: Groundwater, Estany de Sant Maurici, Laguna de Urbión, Laguna Grande de Peñalara, Ramsar

RESUMEN

En la última década España ha aumentado la Lista Ramsar de humedales con algo más de una veintena de nuevas zonas, tres de las cuales constituyen las primeras lagunas de origen glaciar en España: El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, los Humedales de la Sierra de Urbión y los Humedales del Macizo de Peñalara. En el año 2012 un equipo del IGME inició el estudio de estos tres humedales con el objetivo de caracterizarlos hidrogeológicamente. Para ello se procedió a analizar las características físicas, geológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas de cada uno de estos humedales, primero a partir de referencias existentes en la literatura científica y después, mediante una campaña de campo realizada en julio de 2012. Los resultados ponen de manifiesto que, en contra de lo que se pensaba, existen indicios de una posible dependencia de los tres humedales de las aguas subterráneas.

ABSTRACT

The number of wetlands declared to be of international importance has increased by 24 in Spain in the last decade. Spain currently has 74 wetlands included in the Ramsar list. Among these are the first examples of high altitude wetlands (that is to say, higher than 1500 meters) and of glacial origin: Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, Humedales de la Sierra de Urbión and Humedales del Macizo de Peñalara. The first two are to be found in the Ebro Hydrographic Basin and the third in that of the Tajo.

The paper analyses the physical, geological, hydrogeological and hydrochemical characteristics of the three selected wetlands in each of the said sites: Estany de Sant Maurici, Laguna de Urbión and Laguna Grande de Peñalara. A literature study has been carried out supplemented by a water sample campaign in July 2012. The main contribution of this study is the examination of various hydrogeological aspects of these wetlands, which have not been examined in the past, possibly because it was thought that they had no relationship with groundwater. The three wetlands have clearly differentiated hydrogeological features. Only one of the three, Estany de Sant Maurici, is located within the area of a groundwater body, known as the Macizo Axial Pirenaico, made up of a fractured and compartmented carbonated system on which rest moraine deposits from the bottom of the valley which makes up the lake's basin. However, this does not mean that there may not exist small local aquifers in areas classified as impermeable or of low permeability. This may be the case of the Laguna de Urbión, which is over a glacial moraine which rests on Cretaceous sandstones and marls, as well as the Laguna Grande de Peñalara in which the fractures and cracks of the orthogneisses on which it rests, along with the development of the processes of meteorization on their surfaces, may encourage the development of local aquifers responsible for the storing of melt water in the summer months and the maintenance of a base flow.

These facts, coupled with the low fluctuation of the water level in wetlands throughout the year, and the existence of permanent outfalls from them, are good reasons to suppose that there may be a certain share of groundwater in the functioning of these wetlands. To confirm this hypothesis some detailed studies would need to be made to record the continuous fluctuation of the water level and the evolution of the physico-chemical characteristics of the water column of each of them across the seasons. Piezometers would also have to be installed in appropriate locations in each wetland to identify vertical flows and establish the corresponding hydrological balances.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los meses de marzo a noviembre del año 2012, se estudiaron las características hidrogeológicas de tres humedales declarados protegidos según el Convenio de Ramsar (Fig. 1): el Estany de Sant Maurici, situado en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici; la Laguna de Urbión, que forma parte del sitio Ramsar llamado “Humedales de la Sierra de Urbión”; y la Laguna Grande de Peñalara, que pertenece al sitio Ramsar identificado como “Humedales del Macizo de Peñalara”. El objetivo principal del estudio ha sido establecer la relación existente entre estos ecosistemas y las aguas subterráneas. Los tres sitios Ramsar constituyen excelentes manifestaciones de humedales ubicados en enclaves geomorfológicamente relacionados con procesos de glaciario y periglaciario del Pleistoceno en España.

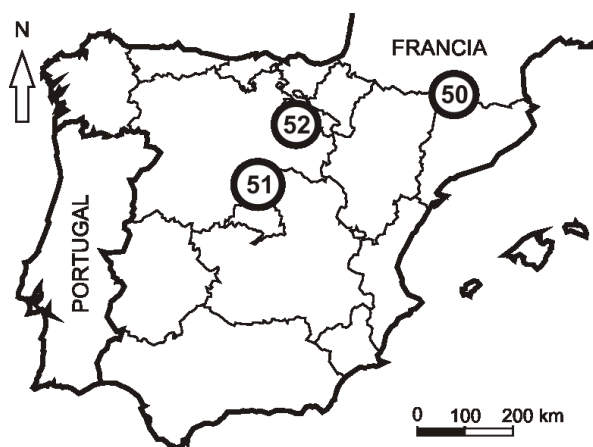


Figura 1.- Localización de los tres humedales Ramsar objeto de estudio. 50: Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici; 51: Humedales del Macizo de Peñalara; 52: Humedales de la Sierra de Urbión. Esta numeración corresponde al lugar que ocupan los humedales en la Lista Ramsar de humedales españoles.

- Location of the three Ramsar wetlands studied. These numbers correspond to those wetlands places in the Spanish Ramsar list.

El estudio de los aspectos hidrogeológicos de estos humedales de origen glaciario no ha sido abordado en el pasado, posiblemente porque se consideraba que no existía ninguna relación con las aguas subterráneas, debido a que dos de los tres humedales (lago de San Mauricio y Laguna Grande de Peñalara) parecen localizarse en materiales de baja o nula permeabilidad. Sin embargo, la persistencia de la lámina de agua en estas lagunas podría estar asociada al menos en parte, a aguas subterráneas. Esto es importante dado que en los últimos años se

observa un incremento muy considerable en el reconocimiento que las aguas subterráneas tienen en el funcionamiento de los ecosistemas, y no sólo como recurso económico. Tradicionalmente las formaciones cuaternarias superficiales de carácter glaciario o periglaciario se han considerado de poco o nulo interés hidrogeológico; sin embargo, también desde siempre estas formaciones han abastecido a pequeñas poblaciones de montaña (LÓPEZ VERA *et al.*, 1976), y han alimentado numerosos cursos de agua y, por supuesto, lagos y humedales.

2. METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo anteriormente descrito se han seguido los siguientes pasos:

1. Selección de tres humedales piloto entre los numerosos existentes dentro de los tres sitios Ramsar: Estany de Sant Maurici, Laguna de Urbión y Laguna Grande de Peñalara.

2. Estudio litológico de los materiales sobre los que se sitúa cada humedal y de las características geológico-genéticas de formación de cada uno de los humedales.

3. Toma de muestras de agua en los tres humedales seleccionados, medida de parámetros inestables *in situ*, y análisis de los componentes mayoritarios. Estos resultados permitirán identificar las facies hidroquímicas de los tres humedales.

4. Verificar la hipótesis de conexión de los humedales con las aguas subterráneas.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS HUMEDALES

3.1. Estany de Sant Maurici

El Estany de Sant Maurici forma parte del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici localizado en el Pirineo central. Este Parque Nacional se encuentra a 5 km de Espot (Fig. 2a), municipio de la comarca catalana del Pallars Sobirà situado en el valle de Spot, al Este del río Noguera-Pallaresa, en la provincia de Lérida, dentro de la Comunidad Autónoma de Cataluña y a pocos kilómetros del nacimiento del Río Garona en Francia. Dentro de su término municipal se encuentra el macizo de Els Encantats. Corresponde a las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 números 181 y 182.

El Estany de Sant Maurici, con 25 m de profundidad máxima y una superficie de 25 ha, se encuentra por tanto en la cuenca del Noguera-Pallaresa (afluente del río Segre por su margen derecha). Recibe aportes superficiales procedentes de tres efluentes: los ríos del Portarró, Ratera y de la Rivera de Subenuix. Cuenta con un emisario, el río Escrita. La cuenca que vierte al Estany de Sant Maurici tiene una superficie de escorrentía directa de 485,3 ha (CHE, 2006). Desde el punto de vista morfológico el Estany de Sant Maurici presenta una forma alargada, con una pendiente dominante

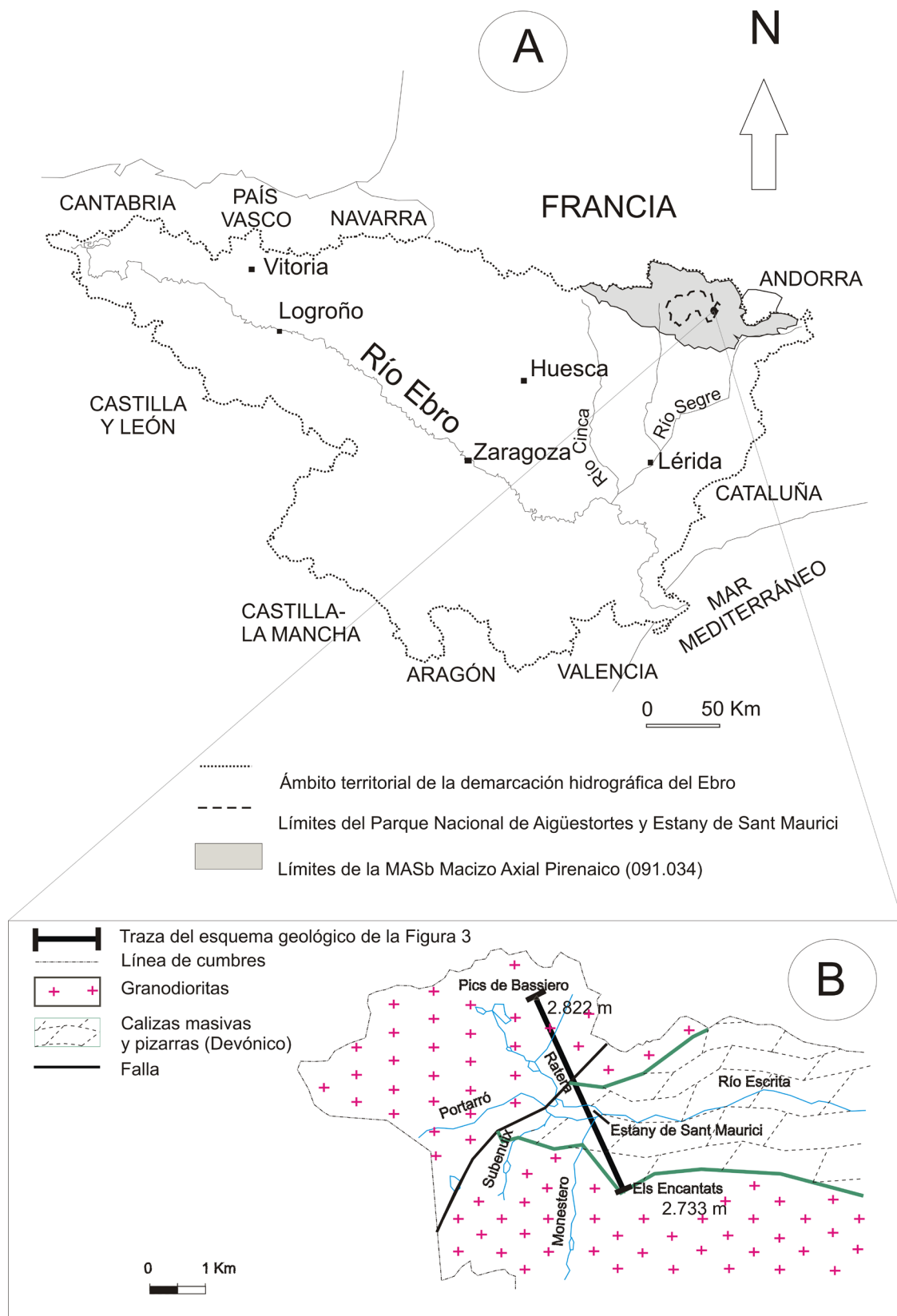


Figura 2. A Localización del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici en el Pirineo central, dentro de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y de la masa de agua subterránea 091.034 Macizo Axial Pirenaico. B. Detalle del esquema geológico modificado de IGME-OAPN (2010).

- A. Location of National Park of Aigüestortes i Estany de Sant Maurici in the central Pyrenees, within the Ebro River Basin and 091.034 Macizo Axial Pirenaico groundwater body. B. Detail of the geological scheme modified from IGME-OAPN (2010).

en su cubeta que se sitúa entre el 50 y el 75% (CHE, 2011); ésta se originó por sobreexcavación del glaciar del valle del río Escrita.

Aigüestortes es la zona palustre más importante del Pirineo, con 272 lagos, denominados localmente estanys. Ocupan tanto las cubetas de los circos glaciares, en cuyo caso presentan formas circulares, tales como los de Mar, Rius, Ratera o Gerber; o bien los fondos de valle, en cuyo caso presentan formas redondeadas, tales como el Estany de Sant Maurici, Llong, etc. (IGME-OAPN, 2010:43).

El valle del Escrita presenta una dirección O-E y está excavado en la terminación occidental del sinclinal de Tremp, en materiales devónicos y ordovícicos, rodeado de materiales graníticos que constituyen los circos glaciares que lo alimentan. La potencia del hielo debió ser superior a 300 m ya que confluían las lenguas glaciares de Ratera (al norte), Subenuix y Monestero (al sur), y Portarró (al oeste), en su avance hacia la cuenca mediterránea. El Estany de Sant Maurici se encuentra en la actualidad represado en su lado oriental, donde se produce la salida del río Escrita. La primera edición del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000, pone de manifiesto que se trataba de un lago alargado antes de que existiera la presa, y MARTÍ & PUIG DE FÁBREGAS (1968) reconocen un arco de regresión würmiense que cerraba en parte el lago antes de la construcción de la presa actual con fines hidroeléctricos; existe un importante sistema de tuberías subterráneas que enlazan los lagos entre sí (IGME-OAPN, 2010).

La *Guía Geológica* del IGME-OAPN (2010) incluye una cartografía geológica en la que la mayor parte del Parque Nacional de Aigüestortes se encuentra sobre un afloramiento granítico (granodioritas) rodeado de materiales de distintas edades geológicas, desde el Cámbrico hasta el Cuaternario. De acuerdo con dicha referencia, la cabecera del Estany de Sant Maurici se situaría en el contacto mecánico del batolito granítico de la Maladeta, con una formación constituida por calizas masivas, alternancia de calizas y pizarras, y pizarras oscuras de edad devónica, que conforman la cubeta del lago. Estos materiales se encontrarían afectados por la aureola de metamorfismo de contacto producida por la intrusión granítica.

El Estany de Sant Maurici, así como el Parque Nacional de Aigüestortes, se localiza en el ámbito del dominio hidrogeológico del Sinclinal de Tremp (Fig. 2a), y dentro de él, en la zona central de la masa de agua subterránea (MASb) 091.034, denominada Macizo Axial Pirenaico. Se encuentra, por tanto, en la vertiente meridional de la Cordillera Pirenaica. Esta MASb se caracteriza por su complicada geometría ya que presenta niveles carbonatados fracturados y deformados, inmersos en una serie de media-baja permeabilidad que hace pensar que no constituye un único acuífero, ni aún en el caso de que exista continuidad litológica, sino que deben ser frecuentes los casos de confinamiento generando

una importante compartimentación hidrogeológica (IGME-DGA, 2010a). Además hay que considerar la presencia de abundantes formaciones geológicas cuaternarias formadas por depósitos morrénicos de considerable espesor, susceptibles de formar acuíferos, y que hasta ahora no han sido tenidas en cuenta en su vinculación con la funcionalidad ecológica de los lagos y humedales existentes.

La MASb Macizo Axial Pirenaico presenta una superficie dominada por rocas de media y baja permeabilidad; la superficie permeable se estima en 2.101,40 km², que corresponden a un 51,28% y está constituida por formaciones metadetríticas y carbonatadas de edad cámbrico-ordovícica, que afloran al Norte y Sur del entorno del Parque Nacional (IGME-DGA, 2010b). La zona de estudio representada en la Figura 2b corresponde, en su mayor parte, a rocas plutónicas, materiales cuaternarios representados por arenas, limos, gravas y bloques de fondos de valle y llanuras de inundación fluvial y morrenas. En la Figura 3 se muestra un corte geológico del Estany de Sant Maurici según la traza NO-SE indicada en la Figura 2b. En la mayor parte del Parque Nacional de Aigüestortes afloran rocas graníticas correspondientes al basamento de la estructura pirenaica. Este conjunto rocoso granítico (batolito de la Maladeta) contacta con las calizas y pizarras del Devónico mediante una falla en el extremo occidental del Estany de Sant Maurici. La cubeta del lago se asienta por tanto sobre estas calizas, que se presentan intensamente plegadas y verticalizadas, y que afloran en *Els Encantats*.

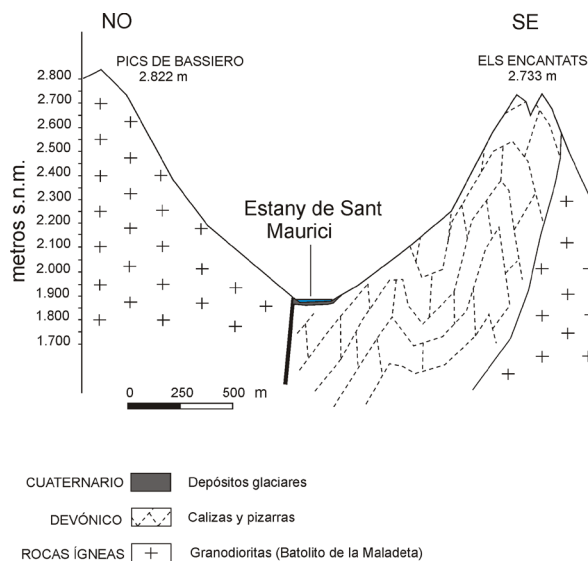


Figura 3. Corte geológico del Estany de Sant Maurici según la traza indicada en la Fig. 2b.

- Geological cross-section of the San Mauricio lake according to the transect indicated in Fig.2b.

Tabla I. Resultados del análisis químico de las aguas del Estany de Sant Maurici a partir de una muestra de agua tomada el 11 de julio de 2012.

- Results of the chemical analysis of waters of the Estany de Sant Maurici from a water sample taken in July 11th, 2012.

Nombre	Fecha de muestro	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	pH ₍₁₎	C.E. ₍₁₎
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		μS/cm
Estany de Sant Maurici	11-7-2012	1,00	2,00	15,00	0,00	0,00	2,00	3,00	0,00	6,80	37

La hidrogeología descrita nos induce a pensar que tanto los materiales cuaternarios subyacentes al Estany de Sant Maurici, como las calizas y pizarras devónicas, constituyen formaciones geológicas permeables, que podrían formar acuíferos superpuestos y compartimentados por el batolito de la Maladeta.

3.2. Laguna de Urbión

La Laguna de Urbión se encuentra situada en la Comunidad Autónoma de La Rioja, en el término municipal de Viniegra de Abajo (Fig. 4a). Se localiza en la Hoja del Mapa Topográfico Nacional número 278 a escala 1:50.000, Canales de la Sierra. Forma parte del Parque Natural de la Laguna Negra, y Circos y Glaciares de Urbión.

Esta laguna se encuentra a una cota de 1.985 m s.n.m. Tiene forma redondeada (Fig. 4c) y una profundidad máxima de 7 m con un volumen de agua almacenado de 100.000 m³ (LOPO, 2006-2008).

De acuerdo con la Hoja Geológica MAGNA OLAVERRI-CAPDEVILA (1978) esta laguna se asienta sobre depósitos morrénicos de edad cuaternaria en uno de los dos cuencos que existen dentro del circo glaciar de Urbión (Fig. 4c).

La Sierra de Urbión se orienta según una dirección E-O a lo largo de 20 km de longitud. Alcanza los 2.228 m de altitud y constituye una divisoria de primer orden entre la vertiente mediterránea y la atlántica (SANZ, 2001). Los humedales de la Sierra de Urbión se localizan en la divisoria de aguas entre las cuencas del Duero y del Ebro. Su inclusión en la Demarcación Hidrográfica del Ebro se debe a que en la Laguna nace el río Urbión, afluente del Najerilla, y éste a su vez del Ebro.

Los humedales de la Sierra de Urbión son un conjunto de diez depresiones originadas por erosión glaciar en circo, con depósitos morrénicos. La Laguna de Urbión ocupa una superficie de 2,3 ha y es la única de carácter permanente de las diez que constituyen el sitio Ramsar; las nueve lagunas restantes son pequeños humedales cuyas superficies varían entre 0,17 y 0,004 ha, tienen menor profundidad que la Laguna de Urbión (L1), y en algunos casos sólo tienen agua en determinadas épocas del año. De acuerdo con LOPO (2006-2008), en el conjunto de humedales

de la Sierra de Urbión, la Laguna de Urbión tiene un hidroperiodo permanente no fluctuante, así como también las lagunas L3 y L6, mientras que el resto de las lagunas son temporales.

En la Figura 5 puede observarse que la cubeta de la Laguna de Urbión se sitúa sobre materiales morrénicos del Cuaternario que descansan sobre areniscas y margas (Grupo Oncala) de la facies Purbeck-Weald del Jurásico-Cretácico (Hoja MAGNA 1:50.000 Canales de la Sierra, nº 278 del IGME), todos ellos materiales permeables desde el punto de vista hidrogeológico. Nuestras observaciones de campo así lo corroboran. Frente a esto, GEOMARE (2005) sitúa los humedales de la Sierra de Urbión sobre conglomerados, areniscas, limonitas, arcillas, margas y calizas de edad jurásica-cretácica.

La masa de agua subterránea Mansilla-Neila aflora pocos kilómetros aguas abajo de los humedales de la Sierra de Urbión (Fig. 4b) y de acuerdo con IGME-DGA (2010c), está constituida por dos formaciones geológicas permeables calcáreas: una SupraKeuper-Lías (Grupo Renales); y en menor medida, la formación carbonatada de Chelva del Dogger. Sin embargo, dicha fuente reconoce el potencial hidrogeológico de la serie Oncala (Cretácico inferior) para formar acuíferos. Las formaciones del SupraKeuper-Lías y del Dogger, ambas de carácter kárstico, presentan una distribución espacial en dos franjas cartográficas paralelas entre sí de dirección E-O, transversales al cauce del río Urbión (Fig. 4b).

El río Urbión describe su curso remontando la serie estratigráfica. En la Figura 6 se muestra un corte geológico transversal a la franja más meridional, próximo a la Laguna de Urbión. Puede observarse que existe un basculamiento de la serie estratigráfica hacia el Sur. Los humedales de la Sierra de Urbión se encuentran fuera de la masa de agua Mansilla-Neila y según IGME-DGA (2010c) su origen no tiene componente subterránea, pero sus emisarios superficiales se consideran como una fuente de recarga de las formaciones geológicas permeables definidas.

De acuerdo con LOPO (2006-2008), las aguas de los humedales de la Sierra de Urbión son características de alta montaña en cuencas silíceas con baja presión antrópica. Sus propiedades son las características de aguas con muy baja mineralización y temperaturas generalmente inferiores

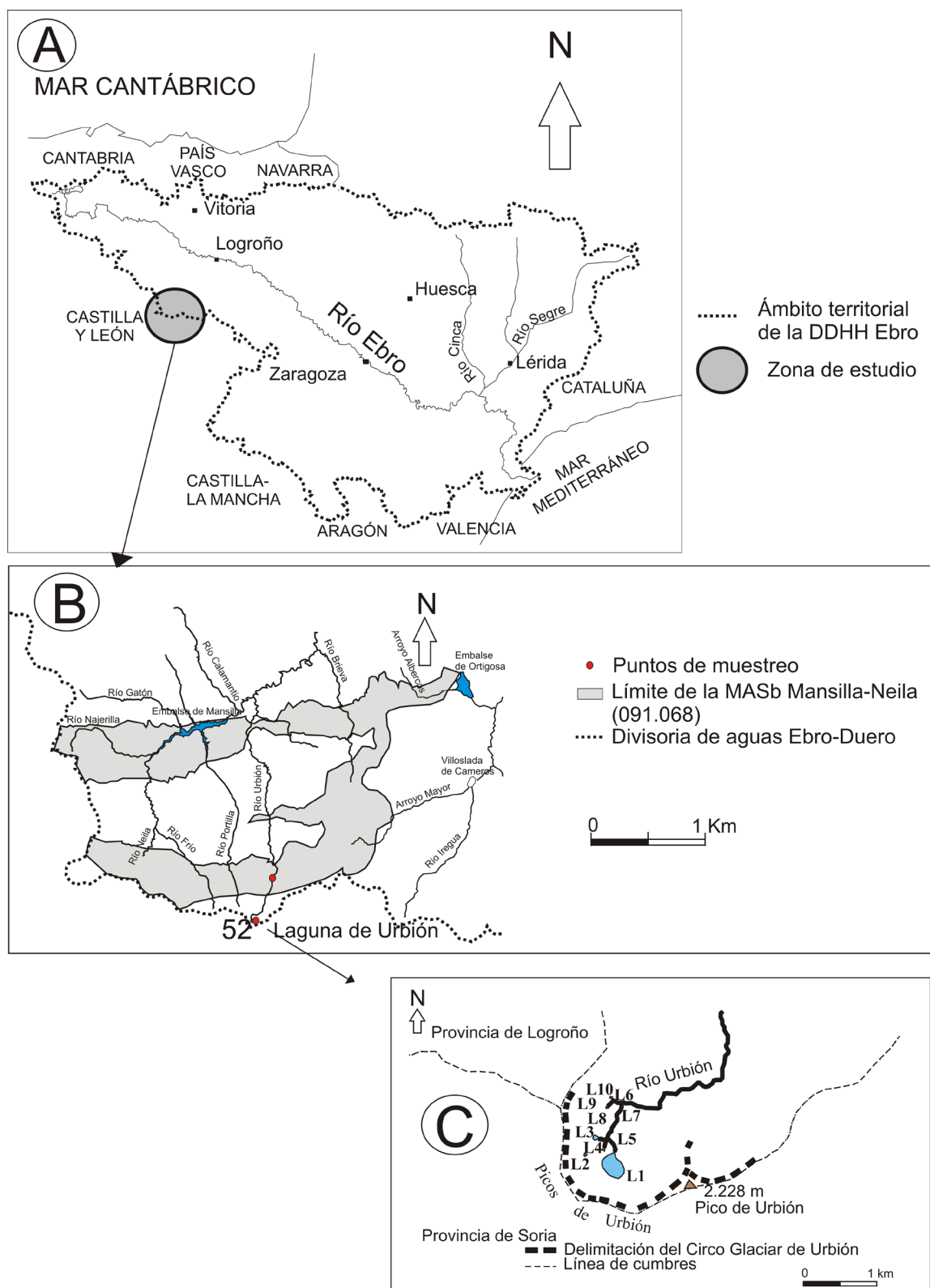


Figura 4. A. Ubicación de la laguna de Urbión en la Demarcación Hidrográfica del Ebro. B. Detalle de las formaciones geológicas permeables que constituyen la masa de agua subterránea 091.068 Mansilla-Neila, pocos kilómetros aguas abajo de la laguna; se indican los dos puntos de muestreo de la campaña de campo realizada en el mes de julio de 2012. C. Definición del sitio Ramsar Humedales de la Sierra de Urbión de acuerdo con el BOE del 24 de febrero de 2006. L1= Laguna de Urbión. Las restantes lagunas aparecen indicadas de L2 a L10.

A. Location of the Laguna de Urbión in the Ebro River basin. B. Detail of the permeable geological formations which form the 091.068 Mansilla-Neila groundwater body, few kilometers downstream of this lake; two water sampling points are indicated of the field work carried out in July 2012. C. Ramsar site definition according to 24 February 2006 BOE. L1=Laguna de Urbión. The remaining lakes are indicated as L2 to L10.

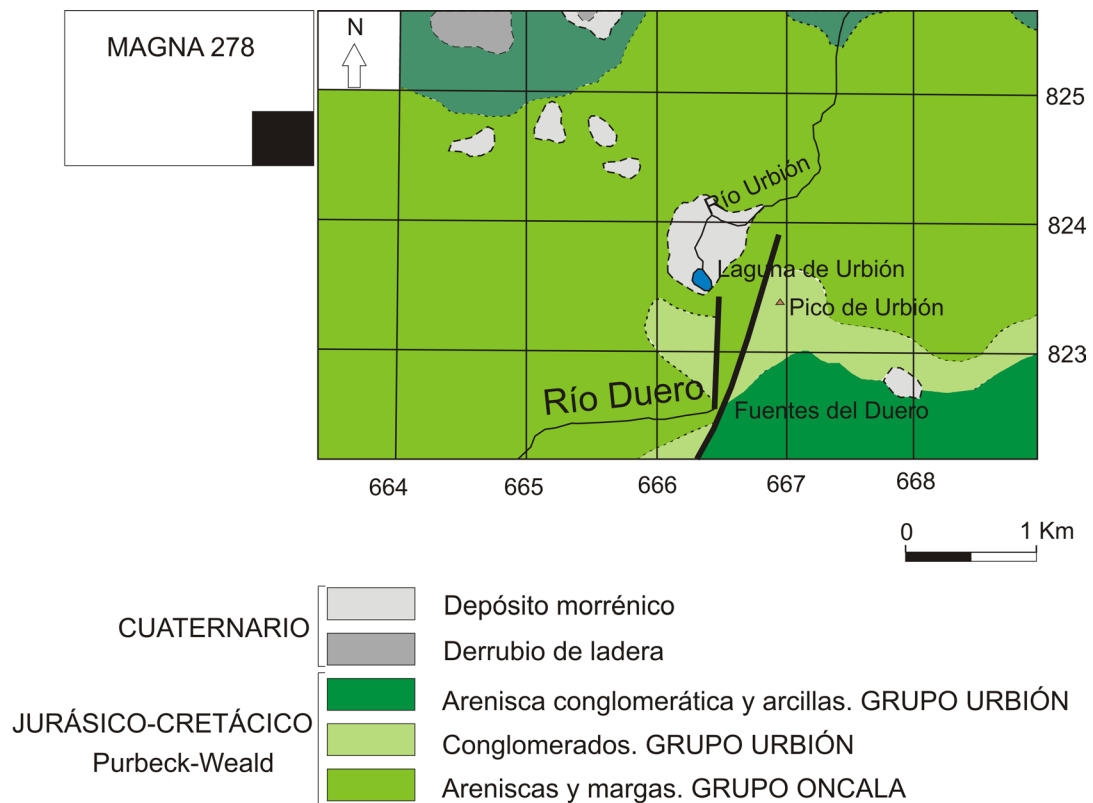


Figura 5. Detalle de la ubicación de la Laguna de Urbión de acuerdo con OLAVERRI-CAPDEVILA (1978).
- Detail of the Laguna de Urbión location according to OLAVERRI-CAPDEVILA (1978).

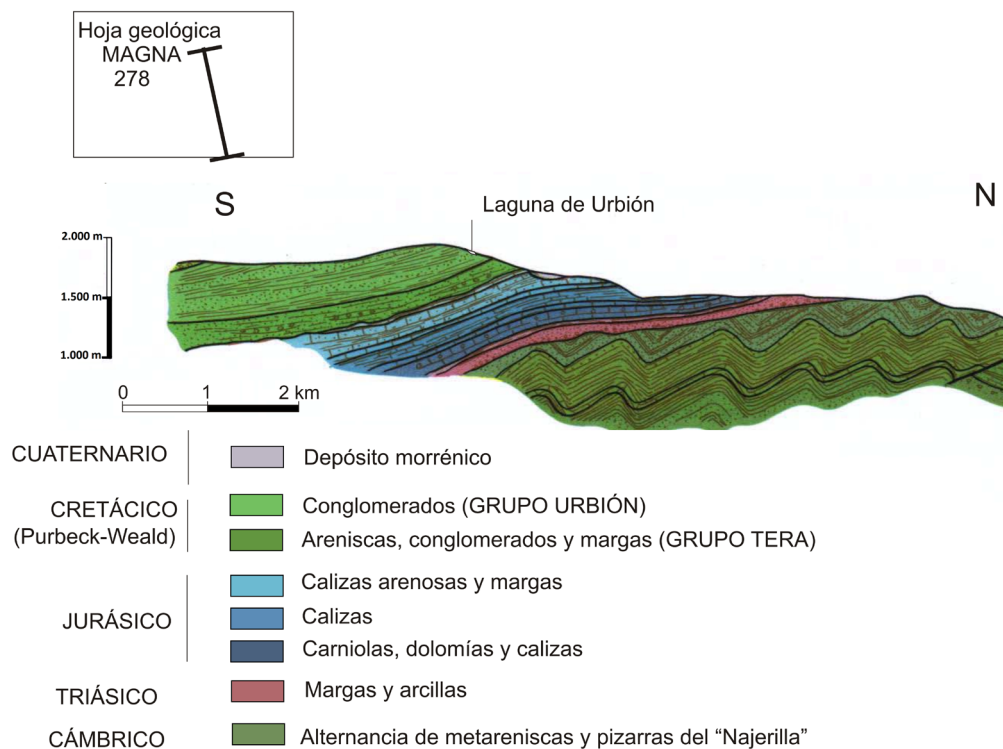


Figura 6. Perfil geológico de la Sierra de Urbión (modificado de OLAVERRI-CAPDEVILA, 1978) e indicación de la ubicación de la Laguna de Urbión proyectada sobre el perfil.
- Geological profile of the Sierra de Urbión (modified from OLAVERRI-CAPDEVILA, 1978) indicating the location of Laguna de Urbión on the profile.

Tabla II. Resultados de la composición química en la Laguna de Urbión y del río Urbión (muestras de agua tomadas el 16 de julio de 2012).

- Results of the chemical composition in the Laguna de Urbión and Urbión river (water samples taken on July 16th, 2012).

Nombre	Fecha de muestreo	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	pH ₍₁₎	C.E. ₍₁₎
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		μS/cm
Laguna de Urbión	16-7-2012	1,00	4,00	6,00	0,00	0,00	2,00	1,00	0,00	6,78	18
Río Urbión	16-7-2012	3,00	49,00	106,00	0,00	0,00	6,00	50,00	0,00	8,28	283

a 20 °C en verano, y que permanecen congeladas buena parte del invierno. Conductividad eléctrica entre 14 y 41 μS/cm a 25°C; pH entre 5,8 y 6,9 y alcalinidad menor de 0,3 meq/L. En la campaña de campo de julio 2012, se tomaron muestras de agua en la laguna de Urbión y del río Urbión, algunos kilómetros aguas abajo (puntos indicados en la Figura 4b). Los resultados obtenidos de los análisis químicos de las muestras de agua se indican en la Tabla II. En ella puede observarse que el anión dominante corresponde al bicarbonato, y el catión, al magnesio. Son aguas efectivamente muy poco mineralizadas y a pesar de ser muestreadas en verano, la conductividad eléctrica presenta valores muy bajos.

3.3. Laguna Grande de Peñalara

La Laguna Grande de Peñalara, junto con otros humedales del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (Fig. 7), se localiza en la provincia de Madrid, al Suroeste del término municipal de Rascafría, en la Hoja del Mapa Topográfico Nacional número 483 a escala 1:50.000. El Macizo de Peñalara constituye el relieve culminante de la Sierra de Guadarrama (2.428 m s.n.m.) siendo el Pico de Peñalara el punto topográfico más elevado.

Este Parque Natural (768 ha de superficie) es objeto de seguimiento científico desde hace décadas y gracias a ello se dispone de un registro de información histórica de los parámetros más característicos del sitio (TORO & MONTES, 1993; GRANADOS *et al.*, 2006). De acuerdo con estos autores, entre los humedales de este sitio Ramsar se encuentran dos lagunas permanentes (Grande de Peñalara y Los Pájaros), una temporal (Claveles) y 242 charcas y lagunillas menores, sin contar turberas y arroyos de montaña. GRANADOS *et al.* (2006) consideran estas charcas y lagunas epigénicas, permanentes o temporales, sometidas a un régimen pluvionival y con una elevada tasa de renovación, indicando su carácter de aguas ácidas y con una mineralización muy débil. La Laguna Grande de Peñalara es una de las más representativas del conjunto. Constituye una laguna glaciar de circo con un emisario, el arroyo de la Laguna de Peñalara, que cuenta con un caudal de menos de 30 l/s, según datos de la estación de

aforos ubicada pocos metros aguas abajo de la laguna (GRANADOS *et al.*, 2006). De acuerdo con PEDRAZA & CARRASCO (2006), la Laguna Grande de Peñalara constituye una laguna mixta formada por sobreexcavación y cierre morrénico. Existe una pequeña morrena frontal sobre el umbral que cierra la laguna, y los corredores laterales (Este y Oeste) lo cual hace pensar en una posible continuidad con una morrena de fondo, en la que se asienta su cubeta. Todo esto induce a considerar la litología de la cubeta de la Laguna Grande de Peñalara, formada por material detrítico (aglomerados de bloques y grandes bloques con matriz arenosa y limo arenosa) de origen glaciar y periglacial y en menor medida rocas metamórficas agrietadas debido a la alteración superficial. Al estar directamente conectadas esas formaciones detríticas con las de las laderas (coluviones o corredores de bloques), nuestra hipótesis plantea que el origen de la alimentación subterránea sean estas formaciones superficiales que, en general, son las que dan lugar a buena parte de los manantiales de las zonas altas del Sistema Central.

La Laguna Grande de Peñalara se ubica a 2.019 m de altitud y presenta una extensión de 5.779 m². Su morfología es circular y tiene una profundidad máxima de 4,8 m (Fig. 7c).

En la Figura 8 puede observarse cómo la Laguna Grande de Peñalara se asienta sobre materiales prehercánicos correspondientes a ortogneises glandulares, hidrogeológicamente muy poco permeables.

Los humedales del Macizo de Peñalara se encuentran en la Demarcación Hidrográfica del Tajo, muy próximos a la divisoria Duero-Tajo, pero fuera de los límites de los terrenos considerados como masas de agua subterránea (Fig. 7a).

En términos generales, el origen del agua de este humedal procede fundamentalmente de la precipitación, tanto de lluvia como de nieve. Su ubicación sobre un sustrato de materiales metamórficos poco permeables parece apoyar *a priori* esta hipótesis. No obstante, su carácter permanente y la existencia de un pequeño arroyo que nace en dicho humedal y fluye con caudal permanente, incluso en los meses de verano, plantea ciertas dudas respecto a la posible contribución de las aguas subterráneas, quizá a

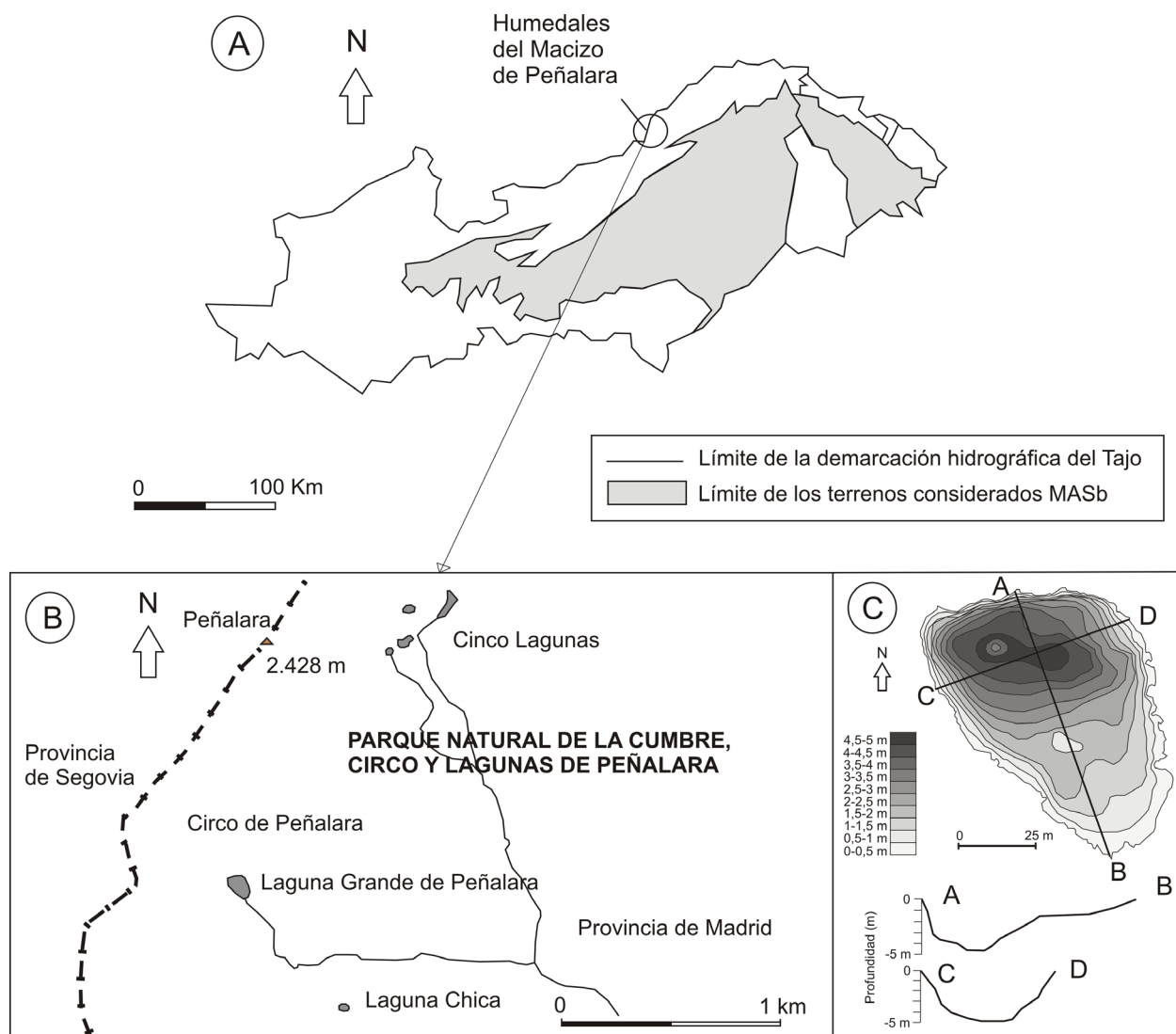


Figura 7. A. Ubicación del sitio Ramsar Humedales del Macizo de Peñalara dentro de la demarcación hidrográfica del Tajo. B. Principales humedales. Por razones de escala no resulta posible reproducir la ubicación de las más de 200 charcas incluidas en este sitio Ramsar. C. Batimetría de la laguna de Peñalara (GRANADOS *et al.*, 2006).

- A. Location of the Ramsar wetlands of the Macizo de Peñalara within the Tagus river basin. B. Mean wetlands. Due to scale reasons it is not possible to represent the more than 200 ponds existing in this Ramsar site. C. Bathymetry of the Peñalara lake (GRANADOS *et al.*, 2006).

Tabla III. Resultados del análisis químico de la muestra tomada en la Laguna Grande de Peñalara el 12 de julio de 2012.

- Results of chemical analysis of the water sample taken in the Laguna Grande de Peñalara on July 12th, 2012.

Fecha de muestreo	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	pH ₍₁₎	C.E. ₍₁₎
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		μS/cm
12-7-2012	2,00	1,00	4,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	6,60	13

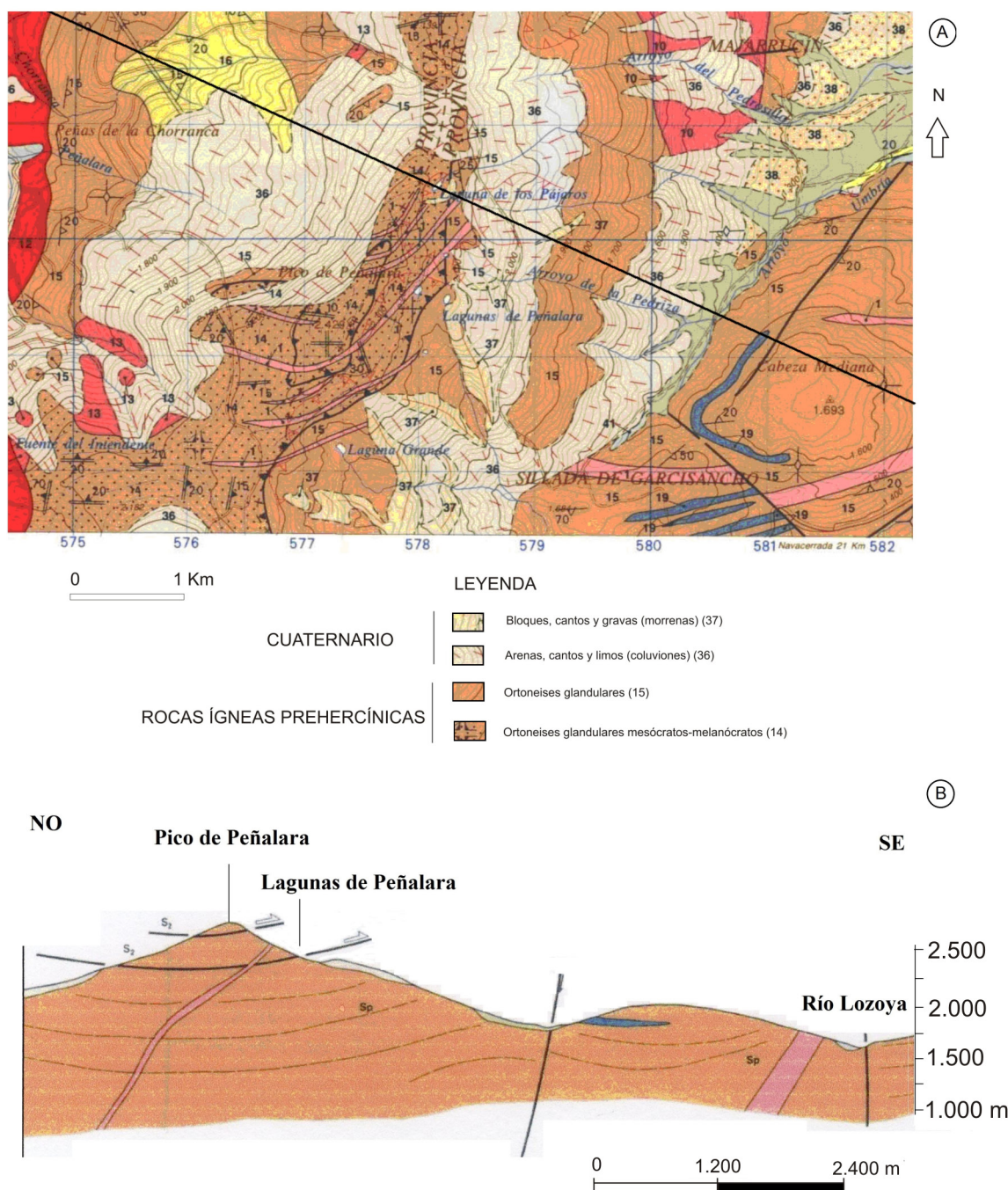


Figura 8. A. Fragmento del Mapa Geológico 483 (Segovia) y (B) perfil geológico desde el Macizo de Peñalara hasta el cauce del río Lozoya (modificado de IGME, 1991).

- A. Fragment of the Geological Map 483 (Segovia) and (B) geological profile from the Macizo de Peñalara to the Lozoya river channel (modified from IGME, 1991).

través de algún pequeño manantial en su cubeta, dentro de algún acuífero de interés local.

Los resultados del análisis físico-químico de la muestra de agua tomada en la Laguna Grande de Peñalara en julio de 2012 (Tabla III), responde a una facies bicarbonatada magnésica.

La tasa de renovación del agua en la Laguna Grande de Peñalara es muy alta; los elevados porcentajes de renovación diaria se producen no sólo en los meses de invierno, vinculados a

episodios de precipitaciones intensas en forma de lluvia o nieve, sino también, en los meses de verano y otoño en los que las precipitaciones son, por lo general, más reducidas o incluso nulas.

La evolución diaria del nivel de agua en la laguna junto con la evolución de la precipitación en el periodo 1998-2005, muestra una fluctuación muy pequeña, con una diferencia de 52 cm entre el nivel máximo y el mínimo observado (GRANADOS *et al.*, 2006).

4. CONCLUSIONES

El carácter permeable de las formaciones geológicas que constituyen el asentamiento de algunos de estos humedales (Estany de Sant Maurici y Laguna de Urbión), unido a la poco apreciable fluctuación de la lámina de agua a lo largo del año, y a la existencia de emisarios permanentes que nacen en estos humedales, constituyen buenas razones para suponer que la versión de no dependencia de las aguas subterráneas debe ser revisada. Incluso en el caso de humedales asociados geológicamente a rocas duras, que en principio se comportarían hidrogeológicamente como acuífugos y se considerarían formaciones geológicas no permeables, puede existir a escala local un nivel de alteración superficial de los materiales, además de pequeñas grietas y fisuras, que favorecerían una posible circulación del agua subterránea, que podría explicar la permanencia del agua en estos humedales durante todo el año, particularmente durante los meses de estiaje.

Los datos recopilados y analizados en este trabajo parecen indicar que en los tres humedales estudiados podría existir dependencia de las aguas subterráneas. En el caso del Estany de Sant Maurici, su situación dentro de una MASb constituida por materiales de media y baja permeabilidad, podría favorecer la existencia de acuíferos representados mayoritariamente por las morrenas glaciares. En el caso de la Laguna de Urbión, aunque esté situada fuera de la MASb de Mansilla-Neila, se asienta también sobre una morrena glaciar que constituye una formación geológica permeable, que descansa, a su vez, sobre otra formación geológica permeable (las areniscas y margas del grupo Oncala de la facies Purbeck-Weald). En estas circunstancias, resulta difícil negar una posible relación con las aguas subterráneas. Finalmente, la Laguna Grande de Peñalara, podría tener relación con descargas de agua subterránea en su cubeta, favorecidas por las fracturas y diaclasas que afectan a los ortogneises y por la meteorización de la zona superficial.

AGRADECIMIENTOS

A Lorenzo Juan Martínez González, quien amablemente tomó la muestra de agua de la Laguna de Urbión. Este trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación del Instituto Geológico y Minero de España desarrollado entre los años 2012 y 2013. A los revisores anónimos, cuyos comentarios y sugerencias han contribuido a enriquecer notablemente el trabajo presentado. Y a los editores de la Revista de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Geología, por sus indicaciones y sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- BONAVIA, M. & ANIZ, M. 2006-2008. *Ficha Informativa Ramsar (FIR) versión 2006-2008 adaptada al caso español Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*. [en línea]. MAGRAMA. < http://www.magrama.gob.es/ca/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/50_fir_aiguestortes_tcm8-20702.pdf> [Consulta: 02-10-2012]
- CHE 2006. *UTE Red Biológica Ebro. Informe final Lagos. Año 2006. Informe final del lago de San Mauricio*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.
- CHE 2007. *Ficha de datos generales de Embalse del Estany de Sant Maurici. Fecha de actualización Mayo 2007*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.
- CHE 2011. *Ficha de la Red de lagos correspondiente al Estany de Sant Maurici*. Fecha de actualización: 26 de julio de 2011. Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente. Zaragoza.
- GEOMARE S.A.L.. *Mapa geológico de la Comunidad Autónoma de La Rioja a escala 1:350.000*. [en línea]. Dirección General de Política Territorial. Geotecnología, Medio Ambiente y Recursos. Diciembre 2005. <<http://www.larioja.org>> [Consulta: 14-08-2012]
- GRANADOS, I., TORO, M. & RUBIO-ROMERO, A. 2006. *Laguna Grande de Peñalara, 10 años de seguimiento limnológico*. Comunidad de Madrid, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Edita Dirección General del Medio Natural. Madrid.
- IGME 1977. *Mapa geológico MAGNA50 Canales de la Sierra (278). Escala 1:50.000*. IGME. <<http://www.igme.es>> [Consulta: 11-12-2012]
- IGME 1991. *Mapa geológico MAGNA50 Segovia (483)*. [en línea] <<http://www.igme.es>> [Consulta: 11-12-2012]
- IGME (provisional). *MAGNA núm. 181, Esterri de Aneu*. [en línea]. Escala 1:50.000. Mapa geológico provisional. <<http://www.igme.es>> [Consulta: 11-12-2012]
- IGME-DGA 2010. *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico*. -2010a. *Demarcación Hidrográfica del Ebro. Memoria Resumen*. 83 págs. IGME, Madrid. -2010b. *Dominios hidrogeológicos. Tomo 49.091. Sinclinal de Tremp*. 138 págs. IGME, Madrid. -2010c. *Demarcación Hidrográfica del Ebro. Masa de Agua Subterránea 091.068 Masilla-Neila*. 50 págs. IGME, Madrid.
- IGME-OAPN 2010. *Guía Geológica del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici*. Colección Guías Geológicas de Parques Nacionales. IGME. 227 págs. Madrid.
- OLAVERRI-CAPDEVILA, T. Coord. 1978. *Mapa Geológico E. 1:50.000 de Canales de la Sierra*. [en línea]. Serie MAGNA, nº 278. 43 págs. IGME,

- Madrid. <<http://www.igme.es>> [Consulta: 09-12-2012]
- LÓPEZ VERA, F.; PEDRAZA, J. & UBANELL, A.G. 1976. Criterios para la ubicación de construcciones y captaciones de agua en rocas ígneas y metamórficas del Macizo Central Español. *Actas del 1er Simposio Nacional de Hidrogeología (Valencia, 1976)*. Tomo 1, págs. 292-316. AGE.
- LOPO, L. *Ficha informativa Ramsar (FIR) 2006-2008 adaptada al caso español. Humedales de la Sierra de Urbión*. [en línea]. MAGRAMA. < http://www.magrama.gob.es/va/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/51_fir_penialara_tcm35-20703.pdf> [Consulta: 04-10-2012]
- MARTÍ, C.E. & PUIG DE FÁBREGAS, C. 1968. Estudio del Parque Nacional de Aigües Tortes y Lago de San Mauricio (Pirineos centrales). *Geología y Geomorfología*. Centro Pirenaico de Biología Experimental, 2, págs: 7-37.
- PEDRAZA, J. & CARRASCO, R.M. 2006. El glaciario Pleistoceno del Sistema Central. *Enseñanza en Ciencias de la Tierra*. **13** (3): 278-288.
- PEDRAZA, J.; CARRASCO, R.M.; MARTÍN-DUQUE, J.F. & SANZ SANTOS, M.A. 2004. El Macizo de Peñalara (Sistema Central Español). Morfoestructura y modelado. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural Sección Geológica*, **99** (1-4): 185-196.
- SANZ, P.E. 2001. *Las montañas de Urbión, Cebolleras y Cabrejas. Geomorfologías y patrimonio geológico*. 243 págs. Ediciones de la Excma. Imprenta Provincial de Soria. Soria.
- TORO, M. & MONTES, C. 1993. *Bases limnológicas para la gestión del sistema lagunar del Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara*. 216 págs. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.